第39卷 第2期
2022年3月

干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

Vol. 39 No. 2
Mar. 2022

准噶尔东部地区3种土壤类型^{137}Cs与土壤颗粒的关系

杨建军[1]， 王和平[1]， 王明力[2]， 关添泽[1]

（1. 新疆大学资源与环境科学学院，新疆 乌鲁木齐 830046；2. 核工业二一六大队，新疆 乌鲁木齐 830011）

摘 要：为更加深入地了解土壤颗粒对^{137}Cs分布的影响，选取新疆准噶尔东部地区沙土、灰棕漠土和灰漠土3种主要的土壤类型，探讨不同土壤类型及自然地理环境条件下^{137}Cs与土壤颗粒的关系。结果表明：沙土、灰棕漠土和灰漠土均以＞50 μm的颗粒占据主导地位，其占比介于51.35%~90.22%，中值粒径（D50）表现出风沙土＞灰棕漠土＞灰漠土的趋势；灰棕漠土^{137}Cs质量活度变化范围为0.32~15.70 Bq·kg^{-1}，其土壤剖面分布与＜2 μm和2~5 μm的土壤颗粒具有较强的一致性；风沙土^{137}Cs比活度的分布分别与＞50 μm土壤颗粒（0~14 cm）含量及D50剖面（0~12 cm）分布趋于一致，而灰漠土^{137}Cs比活度与各粒级土壤颗粒剖面并未表现出相同的变化趋势；风沙土和灰漠土中，对^{137}Cs质量活度影响最大的均为2~5 μm粒级的土壤颗粒，而灰棕漠土中^{137}Cs受10~50 μm粒级土壤颗粒影响最大。准噶尔东部地区3种土壤类型^{137}Cs均与土壤颗粒存在密切关系，通过土壤剖面不同粒级土壤颗粒含量预测不同剖面^{137}Cs质量活度具有一定参考价值。

关键词：^{137}Cs；土壤颗粒；土壤类型；准噶尔盆地东部地区

过去几十年来，^{137}Cs在全世界成功地用作土壤侵蚀评估的示踪剂[1-3]。在应用^{137}Cs作为估算土壤侵蚀或沉积速率的示踪剂时，充分了解^{137}Cs在不同土壤粒度组分之间的分布非常重要[4-5]。土壤颗粒作为^{137}Cs的吸附体和再分配的载体，对^{137}Cs含量及其再分配过程起到决定作用[6]，同时^{137}Cs随土壤颗粒在土壤侵蚀过程中存在的分选作用也对研究结果存在潜在影响[7-8]。但迄今为止，有关^{137}Cs含量与土壤颗粒之间关系的研究还较为薄弱，一些研究结果也存在着不同的差异[9]，需要更多的学者投入相关研究以推动^{137}Cs示踪技术的进一步向前发展。

有关学者发现，棕壤和黄棕壤类型土壤^{137}Cs浓度随粒径减小而增加，并与中值粒径（D50）之间存在极好的负指数关系[10]。其中<2 μm和2~5 μm粒级土壤颗粒对^{137}Cs有着较强的吸附能力，而5~10 μm和10~50 μm粒级的土壤颗粒含量与^{137}Cs质量活度之间存在着明显的负相关[11]。此外，许多研究表明^{137}Cs活度与黏粒和胶体的含量成正相关关系，黏粒对于^{137}Cs在土壤中的吸附和固定有着十分重要的作用[12-15]。但是，一些研究也得出了不同的结论，比如砂质土中0.01~0.1 mm粒级对^{137}Cs含量的影响最大，而壤质土中^{137}Cs活度主要与粗粉砂（0.01~0.05 mm）含量有关，与＜0.01 mm的物理性黏粒含量无关[6]，且黄土高原区的土壤颗粒与^{137}Cs含量在土壤剖面分布趋势上并不具有一致性[16]。此外，对红壤丘陵区的研究表明，^{137}Cs活度在不同土层均与砂粒含量显著正相关，而与其他粒级土壤颗粒含量的关系并不显著[17]。以上结果表明，不同区域^{137}Cs与土壤颗粒的关系存在一定差异，进一步探讨土壤颗粒与^{137}Cs的关系有助于放射性核素在水土流失示踪研究中的应用。

水土流失指在水力、重力、风力等外营力的作用下水土资源和土地生产力的破坏和损失，准噶尔盆地东部地区降雨量低，风速大，植被覆盖度低，风力侵蚀严峻，土壤肥力差[18]。本研究选取准噶尔东部地区主要土壤类型，探究不同粒级土壤颗粒对^{137}Cs的吸附作用，以期更加深入地了解不同土壤类型及自然地理环境条件下^{137}Cs吸附的粒度效应，并探讨土壤颗粒对^{137}Cs分布的影响，从而为准噶尔东部地区土壤侵蚀定量模型提供必要的参数依据。

收稿日期：2020-08-14； **修订日期**：2020-09-24
基金项目：国家自然科学基金项目（41661057）
作者简介：杨建军（1978-），男，副教授，主要从事水土保持与荒漠化防治研究. E-mail: yjj@xju.edu.cn

1 材料与方法

1.1 研究区概况

准噶尔东部地区是新疆准噶尔盆地东部的彩南至北塔山的狭长地带，海拔高度800~1473 m，地理位置为88°10′~91°10′E，43°30′~45°00′N，总面积约2.23×10^4 km^2，属典型的极端干旱大陆气候，多年平均降水量为183.5 mm，多年平均蒸发量为2042.3 mm，四季多风，最多大风日数45 d，风力一般在3~5级，多年平均风速在2.7~3.7 m·s^{-1}，最大风速16 m·s^{-1}，属强度风力侵蚀，是研究干旱区土壤侵蚀的代表性地区。土地利用类型以沙地和裸地为主，也有少量的耕地和草地，植被覆盖度较低(3%~5%))，有机质积累量少，是典型的荒漠地带，是新疆水土流失重点治理的区域。

1.2 样品采集与测定

样品采集时间为2017年5—8月，实测点位分布较为均匀，基本能够覆盖研究区。根据研究区景观和土壤类型的分布特点，共选择了27块具有代表性的样地；同时，为了减少空间异质性，保证代表性样地的坡向、坡度等小地形条件类似，从中选取风沙土、灰棕漠土和灰漠土的代表样地分别为6块、5块和3块(表1)。每块样地面积20 m×30 m，在各样地内按照“品”字形设置样点3个，首先用铁铲去除地表砾石、植物残体等杂物，再以2 cm为间隔在0~20 cm垂直分层采样，有研究表明^{137}Cs基本分布于0~20 cm甚至更浅的深度[19]，将同一样地同一深度的土层样品混合并去掉杂质后带回实验室，共计140个样品。

1.2.1 土壤样品^{137}Cs的测定　采集的土壤样品在实验室内自然风干后，经进一步去杂质、研磨过2 mm筛后，取1000 g封装保存待测。^{137}Cs活度在核工业北京地质研究院利用GMX-20A-Plus高纯锗γ能谱仪测定，采用配备N型高纯锗探头的低能量、低本底γ能谱仪，根据661.6 KeV谱峰面积测算样品^{137}Cs含量。样品测重＞400 g，测定时间≥50000 s，测试误差为±5%(95%信度)。

1.2.2 土壤机械组成的测定　使用干/湿法两用型激光衍射粒度分析仪(Microtrac Bluewava)进行粒径分析，测量范围为0.01~2000 μm；分析精度误差≤0.6%；每个土样测定多次(≥5次)，取平均值。参考李仁英等[16]的研究结果，粒级按USDA制划分为5级：＜2 μm(黏粒)、2~5 μm(粉粒)、5~10 μm(极细砂)、10~50 μm(细砂~中砂)和＞50 μm(粗砂–极粗砂)。

2 结果与分析

2.1 土壤粒径及^{137}Cs分布

风沙土、灰棕漠土、灰漠土的粒径分布有所差异(表2)。风沙土中＜2 μm、2~5 μm和5~10 μm的含量较低，介于0.81%~1.40%，＞50 μm的颗粒含量高达90.22%，明显高于其他4个粒级的含量，灰漠土中10~50 μm和＞50 μm粒级的土壤颗粒含量分

表1 研究区样地概况

Tab. 1 Overview of the research plot

土壤类型	样地编号	经度/(°)	纬度/(°)	海拔/m	土壤类型	土地利用类型	植被种类	盖度/%	坡度/(°)
风沙土	A1	88.75359	44.58966	535	风沙土	沙地	梭梭，猪毛菜，麻黄	10	7
	A2	89.17236	44.65644	513	风沙土	沙地	无植被	0	6
	A3	89.57170	44.52003	589	风沙土	沙地	蛇麻黄，梭梭，沙拐枣	15	9
	A4	89.61073	44.26524	660	风沙土	沙地	蛇麻黄，梭梭	3	8
	A5	88.58902	45.11037	651	风沙土	沙地	梭梭、沙拐枣，蒿类	2	5
	A6	88.79174	44.75451	473	风沙土	沙地	白刺	5	6
灰棕漠土	B1	89.20479	45.04564	893	灰棕漠土	裸地	麻黄，梭梭等	3	6
	B2	89.20845	44.79878	581	灰棕漠土	裸地	无	0	5
	B3	89.61124	44.79412	612	灰棕漠土	裸地	无	0	8
	B4	90.10096	44.63104	594	灰棕漠土	裸地	无	0	6
	B5	89.35170	44.74213	473	灰棕漠土	裸地	假木贼，植被	1	8
灰漠土	C1	88.60051	44.38902	521	灰漠土	沙地	小麦	100	5
	C2	90.34991	44.27048	793	灰漠土	沙地	琵琶柴、梭梭	1	7
	C3	89.11397	44.24088	582	灰漠土	耕地	小麦	100	7

表2　3种土壤类型粒径分布百分比

Tab. 2　Percentages of particle size distributions of three tested soil types

土壤类型	各粒径含量/%					D50
	<2 μm	2~5 μm	5~10 μm	10~50 μm	>50 μm	
风沙土	0.81±0.59a	1.58±1.09a	1.40±0.91a	5.99±3.29b	90.22±5.86a	156.05±22.30a
灰棕漠土	5.16±1.99a	9.69±2.88a	6.68±1.52a	14.46±1.99b	64.01±7.82ab	115.94±28.40a
灰漠土	1.46±0.64a	4.75±1.63a	5.85±1.82a	36.59±7.00a	51.35±10.26b	56.12±15.14a

注：同列不同小写字母表示差异显著（P<0.05）

别为36.59%和56.12%，占据主导地位。灰棕漠土中2~5 μm粒级的土壤颗粒含量为9.69%，在3种土壤类型中最大。此外，3种土壤类型的中值粒径（D50）表现出风沙土>灰棕漠土>灰漠土的趋势。

2.1.1　风沙土　准噶尔东部地区风沙土样点的粒度组成中，>50 μm的土壤颗粒含量占主导地位，其含量百分比在46.64%~99.95%，平均含量为90.22%（表2），且<2 μm、2~5 μm、5~10 μm的土壤颗粒含量明显低于>50 μm的土壤颗粒含量。A6样点为半固定沙丘，主要植被是白刺，植被盖度在5%左右，是风沙土样点的典型代表。从图1中可以看出，表层（0~10 cm）分布的<2 μm、2~5 μm、5~10 μm、10~50 μm粒级的土壤颗粒含量极低，而这4个粒级的土壤颗粒含量在10~20 cm土层明显高于表层土壤，其含量随着剖面深度的增加逐渐增大。这是因为风沙土结构疏松，肥力低，保水性差，极易发生土壤风蚀[20]，表层颗粒的侵蚀分选作用会使细颗粒优先流失，同时，也导致了>50 μm的土壤颗粒含量在表层含量最高，其后随深度的增加逐渐减少。

^{137}Cs质量活度变化范围为0.51~10.60 Bq·kg^{-1}，与>50 μm、D50的剖面分布较为相似，均随深度增加逐渐减少，且分别与>50 μm的土壤颗粒含量在0~14 cm以及D50在0~12 cm深度的分布趋势具有一致性。由此可见，风沙土的土壤颗粒深度分布与^{137}Cs并不一致，仅在表层一定深度内与>50 μm的土壤颗粒和D50有一定的关系，这不同于刘君洋等[21]的研究结果，其发现准噶尔东部地区风沙土的风蚀速率最大，导致上层土壤粒级偏大，^{137}Cs随着土壤深度指数递减。

2.1.2　灰棕漠土　灰棕漠土样点的各粒级土壤颗粒含量平均值分别为5.16%、9.69%、6.68%、14.46%和64.01%（表2），>50 μm土壤颗粒含量依然占据主导地位，但相比于风沙土，<2 μm、2~5 μm、5~10 μm和10~50 μm粒级的土壤颗粒含量有了明显的上升。B1样点属于裸地，植被覆盖度在3%左右，为少量麻黄和梭梭等，是灰棕漠土样点的典型代表。与风沙土样点不同，灰棕漠土样点的<2 μm、2~5 μm和5~10 μm粒级的土壤颗粒含量随着土壤深度的增加呈现出减小的趋势（图2），而>50 μm的土壤颗粒含量和D50的剖面分布随着深度的增加而增加。这主要是因为本研究的灰棕漠土样点均为裸地，样点表面被砾石戈壁所覆盖，对表层土壤起了一定的保护作用[22]，减小了风蚀导致的细颗粒的流失。对比风沙土与灰漠土，灰棕漠土表层^{137}Cs质量活度相对较高，^{137}Cs质量活度变动范围为0.32~15.70 Bq·kg^{-1}，其深度分布趋势与<2 μm和2~5 μm的土壤颗粒含量具有较强的一致性，均随着土壤深度的增加不断减小。有研究表明粒级越小，比表面积越大，对^{137}Cs不可逆吸附越大，本研究中的灰棕漠土^{137}Cs分布符合这一规律[23]。

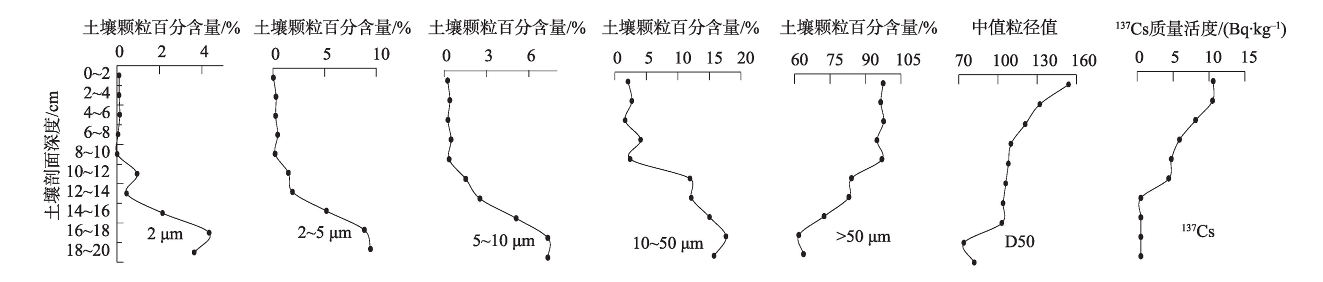


图1　风沙土各粒级土壤颗粒含量与^{137}Cs质量活度分布

Fig. 1　Distribution of soil particle content and ^{137}Cs mass activity of various grain fractions in aeolian sandy soil

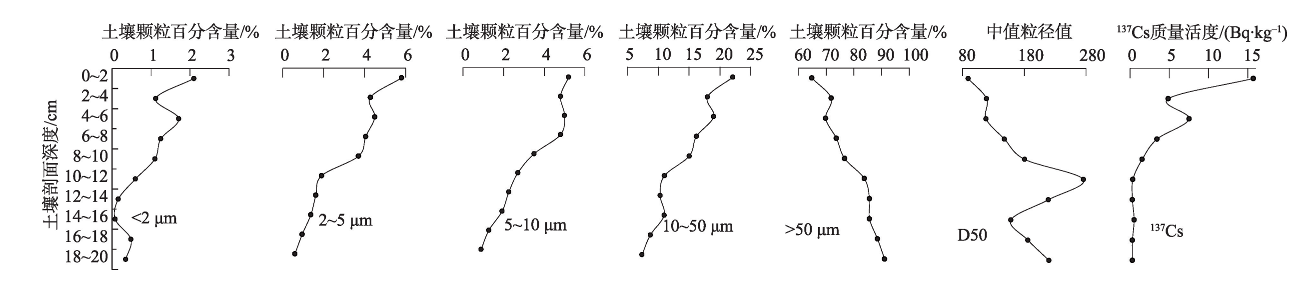


图2 灰棕漠土各粒级土壤颗粒含量与 ^{137}Cs 质量活度分布

Fig. 2 Distribution of soil particle content and ^{137}Cs mass activity of various grain fractions in gray-brown desert

2.1.3 灰漠土 灰漠土样点的粒度组成中，> 50 μm 土壤颗粒含量为51.35%（表2），虽然仍然占据主导地位，但是相比于风沙土和灰棕漠土的90.22%和64.01%而言，其含量已大幅下降。同时，10~50 μm 粒级的土壤颗粒含量上升至36.59%，明显高于风沙土和灰棕漠土，中值粒径为56.12 μm，明显低于风沙土和灰棕漠土的156.05 μm和115.94 μm。C2样点分布有少量的琵琶柴、梭梭等小灌木，植被稀疏，作为灰漠土样点的典型代表，该样点 < 2 μm、2~5 μm、5~10 μm 和 10~50 μm 粒级的土壤颗粒含量随深度变化趋势较为相似，都呈波浪状起伏，而 > 50 μm 土壤颗粒含量和D50的剖面分布趋势则与之相反（图3）。此外，^{137}Cs 质量活度深度分布，在表层0~6 cm范围内呈明显下降趋势，从10.50 Bq·kg^{-1}降到了0.32 Bq·kg^{-1}，而在0~20 cm范围内，并未与各粒级土壤颗粒含量表现出相同的变化趋势，可能由于灰漠土样点为侵蚀剖面。

2.2 土壤颗粒组成含量与 ^{137}Cs 的关系

从相关系数矩阵来看（表3），风沙土和灰漠土的 ^{137}Cs 质量活度均与 < 2 μm、2~5 μm、5~10 μm、10~50 μm 的土壤颗粒含量呈显著的负相关，与 > 50 μm 的土壤颗粒含量呈显著正相关。其中，风沙土中 < 2 μm、2~5 μm 和 5~10 μm 的土壤颗粒含量与 ^{137}Cs 质量活度之间存在着显著的负相关，这与已有研究结果一致[6]，主要是由于 < 10 μm 的土壤颗粒在剖面中的分布层位偏低造成。在本研究风沙土样点中，A1、A3、A4和A5样点 < 2 μm、2~5 μm 和5~10 μm 的土壤颗粒含量在16~20 cm土层为零，而A2和A6样点的含量均低于15%，因而 < 2 μm、2~5 μm、5~10 μm的土壤颗粒分布层位较低。

灰棕漠土不同于以上两种土壤类型，其与 > 50 μm 的土壤颗粒含量呈显著的负相关，与其他4个粒级的土壤颗粒含量呈正相关。此外，中值粒径 D50

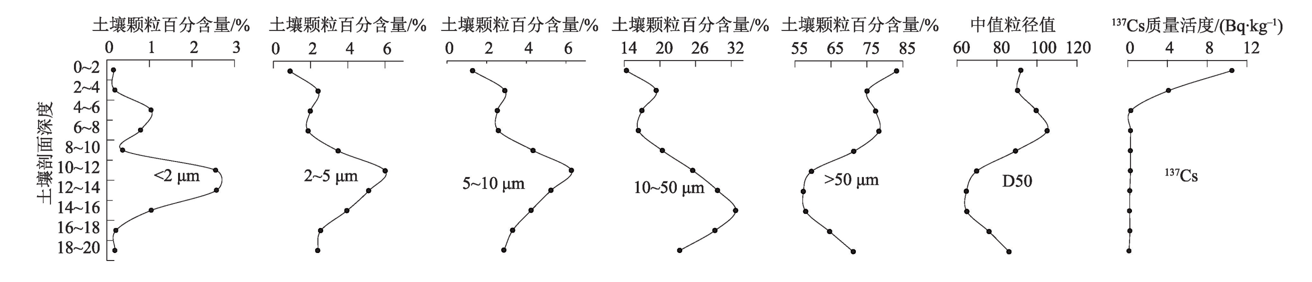


图3 灰漠土各粒级土壤颗粒含量与 ^{137}Cs 质量活度分布

Fig. 3 Distribution of soil particle content and ^{137}Cs mass activity various grain fractions in gray desert soil

表3 ^{137}Cs 质量活度与不同粒级土壤颗粒含量的相关性

Tab. 3 Correlation coefficients of ^{137}Cs mass activities and soil particle distributions of different soil types

土壤类型	< 2 μm	2~5 μm	5~10 μm	10~50 μm	> 50 μm	D50
风沙土	−0.31*	−0.34*	−0.34*	−0.29*	0.33*	0.26
灰棕漠土	0.02	0.234	0.46*	0.75**	−0.44*	−0.44*
灰漠土	−0.37	−0.47*	−0.38	−0.01	0.11	−0.06

注：*表示相关性达到显著水平（P<0.05），**表示相关性达到极显著水平（P<0.05）。

与风沙土中的^{137}Cs质量活度呈显著的正相关,而与灰棕漠土和灰漠土中的^{137}Cs质量活度呈显著的负相关。以上结果在3种土壤类型的典型剖面分布中亦有体现,但是不同土壤类型与^{137}Cs质量活度相关性的大小不同。在风沙土类型中,^{137}Cs质量活度与5个粒级的土壤颗粒含量均呈显著相关(P<0.05),具有较强的相关性。在灰棕漠土中,^{137}Cs质量活度与10~50 μm粒级的土壤颗粒表现为极显著相关(P<0.01),与5~10 μm和>50 μm粒级的土壤颗粒表现为显著相关(P<0.05)。而在灰漠土中,^{137}Cs质量活度与2~5 μm的土壤颗粒相关性较强(P<0.05)。

采用逐步回归的方法找出与^{137}Cs最为密切的土壤颗粒含量并建立数学模型。其中,X_1、X_2、X_3、X_4和X_5分别为<2 μm、2~5 μm、5~10 μm、10~50 μm和>50 μm的土壤颗粒含量,不同土壤类型^{137}Cs比活度与土壤颗粒组成的关系模型(表4)。在风沙土和灰漠土中,对^{137}Cs质量活度影响最大的均为2~5 μm粒级的土壤颗粒,而其他4个粒级的土壤颗粒含量对^{137}Cs影响不大,因此,未被引入方程。有研究指出[6],剧烈影响风沙土^{137}Cs含量的粒径范围为10~100 μm,而本研究中2~5 μm粒级的土壤颗粒对^{137}Cs比活度影响最大。灰棕漠土与风沙土、灰漠土的土壤类型不同,^{137}Cs受10~50 μm粒级土壤颗粒影响最大,而且该模型的显著性达到0.01的极显著水平,R^2为0.879,说明该回归模型精度可靠,因此,可以根据土壤剖面中10~50 μm粒级土壤颗粒的百分含量来预测^{137}Cs质量活度。此外,风沙土和灰漠土与2~5 μm粒级土壤颗粒建立的回归模型均达到了0.05的显著水平,R^2分别达到了0.782、0.681表明其精度较为可靠,具有一定的应用潜力。

表4 ^{137}Cs比活度与不同粒级土壤颗粒组成的关系模型

Tab. 4 Regression models of ^{137}Cs and the composition of soil particles

土壤类型	模型	R^2	RSME	显著性水平(P)
风沙土	$-0.39X_2+4.35$	0.782	2.03	0.02
灰棕漠土	$0.47X_4-2.73$	0.879	1.95	0.00
灰漠土	$-0.94X_2+5.17$	0.681	2.50	0.03

3 讨 论

土壤颗粒组成是土壤最基本的要素,土壤粒度代表了土壤中矿物颗粒直径组合状况,可被用来表示土壤质地状况、理化与结构等性质,其组成会影响土壤抗侵蚀与水土保持能力,美制标准将土壤颗粒划分为砂粒(0.05~2.0 mm)、粉粒(0.002~0.05 mm)和黏粒(<0.002 mm)[24]。

^{137}Cs作为以其独特的性质,作为研究土壤侵蚀良好的示踪剂,与传统方法比具有成本低、见效快及精度高已成为共识[25]。陈思宇等[26]研究发现^{137}Cs质量活度与土壤黏粒含量正相关性,黏粒土壤颗粒越细、表面积大,其所含负电荷能吸持阳离子而使其不被淋失,因此^{137}Cs更易吸附在粒级较小的黏粒上,且使得^{137}Cs在土壤中很难迁移和被置换。一般认为^{137}Cs随土壤加深剧烈减少,张婷婷等[27]认为土壤中50%~80%的^{137}Cs含量集中在表层土壤10 cm以内,本文中灰棕漠土与上述研究结果一致,风沙土<10 μm的土壤颗粒在0~10 cm的含量基本为零,而>50 μm和中值粒径D50与^{137}Cs变化趋势较一致,可能由于灰棕漠土代表样地表面粗糙,未受侵蚀扰动,而风沙土受风力侵蚀影响较大,表现为侵蚀剖面[28]。灰漠土^{137}Cs随剖面加深呈递减趋势,但与各土壤颗粒无显著相似变化趋势,^{137}Cs与<2 μm、2~5 μm和5~10 μm土壤颗粒含量负相关,^{137}Cs质量活度在土壤剖面0~6 cm急剧下降为零,且表层土壤<50 μm土壤颗粒含量非常少,可能由于所在样地受到强力的风蚀作用,具体原因尚不明确。有学者[29]认为放射性核元素在土壤中的迁移、转化和固定不仅与土壤黏土矿物的种类和含量有关,且在很大程度上也跟土壤腐植酸含量有关。另外,李勇等[30]认为^{137}Cs比活度测量值与土壤样品中O的化学组成呈正相关,与Na的含量呈负相关。

本文研究了新疆准噶尔东部地区3种土壤类型各粒级土壤和^{137}Cs的关系,明确了与^{137}Cs存在紧密关系的土壤颗粒,并获得了具有一定精度的回归模型。需要指出的是,本研究虽明确了不同颗粒与^{137}Cs的关系,而没有获取各粒级土壤颗粒的^{137}Cs含

量、黏土矿物组成、有机质等信息，这是后继研究中需要解决的问题，以进一步阐明不同粒级颗粒与 ^{137}Cs 之间关系的内在机制。

4 结 论

通过对新疆准噶尔东部地区3种土壤类型各粒级的土壤颗粒含量和 ^{137}Cs 的关系探究表明，灰棕漠土 ^{137}Cs 质量活度的深度分布趋势与 < 2 μm 和 2~5 μm 的土壤颗粒含量具有较强的一致性，风沙土 ^{137}Cs 质量活度则与 > 50 μm 的土壤颗粒含量和 D50 分别在 0~14 cm 和 0~12 cm 范围内具有一致性。灰漠土 ^{137}Cs 质量活度与各粒级土壤颗粒含量并未表现出相同的变化趋势。风沙土和灰漠土的 ^{137}Cs 质量活度均与 < 50 μm 的各粒级土壤颗粒含量呈负相关，与 > 50 μm 的土壤颗粒含量呈正相关，而灰棕漠土与之相反。对 ^{137}Cs 质量活度影响最大的颗粒粒级风沙土和灰漠土均为 2~5 μm，灰棕漠土为 10~50 μm。在一定程度上，可以通过土壤颗粒含量来预测 ^{137}Cs 质量活度。

参考文献(References)：

[1] Mabit L, Meusburger K, Fulajtar E, et al. The usefulness of ^{137}Cs as a tracer for soil erosion assessment: A critical reply to parsons and Foster[J]. Earth-Science Reviews, 2013, 137(3): 300–307.

[2] Callegari G. Using ^{137}Cs and $^{210}Pb_{ex}$ measurements to investigate the sediment budget of a small forested catchment in southern Italy[J]. Hydrological Processes, 2013, 27(6): 795–806.

[3] Porto P. Using plot experiments to test the validity of mass balance models employed to estimate soil redistribution rates from ^{137}Cs and $^{210}Pb_{ex}$ measurements[J]. Applied Radiation and Isotopes, 2012, 70(4): 2451–2459.

[4] He Q, De W. Interpreting particle size effects in the adsorption of ^{137}Cs and unsupported ^{210}Pb by mineral soils and sediments[J]. Journal of Environmental Radioactivity, 1996, 30(5): 117–137.

[5] 余迪, 沙占江, 王求贵, 等. 青藏高原东北部草原区土壤 ^{137}Cs 和 $^{210}Pb_{ex}$ 分布特征[J]. 干旱区资源与环境, 2018, 21(10): 160–166. [Yu Di, Sha Zhanjiang, Wang Qiugui, et al. Distribution characteristics of ^{137}Cs and $^{210}Pb_{ex}$ in soil of grassland region in the northeastern of Qinghai-Tibet Plateau[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2018, 21(10): 160–166.]

[6] 严平, 高尚玉, 董光荣. 土壤颗粒组成影响 ^{137}Cs 含量的初步实验结果[J]. 中国沙漠, 2002, 22(2): 150–153. [Yan Ping, Gao Shangyu, Dong Guangrong. Experimental results of the soil ^{137}Cs activity as influenced by particle size[J]. Journal of Desert Research, 2002, 22(2): 150–153.]

[7] Meusburger K, Mabit L, Ketterer M. Park, et al. A multi-radionuclide approach to evaluate the suitability of $^{239+240}Pu$ as soil erosion tracer[J]. Science of the Total Environment, 2016, 13(3): 1489–1499.

[8] Pyuskyulyan K, Lamont S P, Atoyan V, et al. Altitude-dependent distribution of ^{137}Cs in the environment: A case study of Aragats massif, Armenia[J]. Acta Geochimica, 2019, 43(6): 132–139.

[9] 郑永春, 王世杰. ^{137}Cs 的土壤地球化学及其侵蚀示踪意义[J]. 水土保持学报, 2002, 16(2): 57–61. [Zheng Yongchun, Wang Shijie. Soil geochemistry characteristics of ^{137}Cs and its theory of tracing soil erosion[J]. Journal of Soil Water Conservation, 2002, 16(2): 57–61.]

[10] Xu Y, Pan S, Wu M, et al. Association of plutonium isotopes with natural soil particles of different size and comparison with ^{137}Cs[J]. Science of The Total Environment, 2017, 13(7): 541–549.

[11] 隋志龙, 杨浩, 杨九东, 等. 宁镇地区黄棕壤土壤颗粒组成与 ^{137}Cs 含量关系研究[J]. 水土保持学报, 2010, 24(5): 157–162. [Sui Zhilong, Yang Hao, Yang Jiudong, et al. Relationship between the soil particles composition and the ^{137}Cs content using yellow-brown soil in Ningzhen region[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2010, 24(5): 157–162.]

[12] Nishimura M. Origin of stanols in young lacustrine sediments[J]. Soil Science of America Proceedings, 1977, 270(4): 711–718.

[13] Zhang X B. Use of ^{137}Cs measurements to investigate erosion and sediment sources within a small drainage basin in the Loess Plateau of China[J]. Hydrological Processes, 1989, 18(3): 317–323.

[14] 赵烨, 岳建华, 徐翠华, 等. ^{137}Cs 示踪技术在滦河源区栗钙土风蚀速率估算中的应用[J]. 环境科学学报, 2005, 25(4) : 562–566. [Zhao Ye, Yue Jianhua, Xu Cuihua, et al. Application of ^{137}Cs tracer technique to estimate the wind erosion rate of castanozem in Luanhe River Source Area[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2005, 25(4): 562–566.]

[15] 郭丽霞, 沙占江, 郭丽红, 等. 共和盆地塔拉滩土壤侵蚀潜在危险度的分级研究[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(11): 124–129. [Guo Lixia, Sha Zhanjiang, Guo Lihong, et al. Gradation of potential soil erosion danger in Tala Shoal of Gong-he Basin[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2013, 27(11): 124–129.]

[16] 李仁英, 杨浩, 赵晓光, 等. 黄土高原区 ^{137}Cs 与土壤颗粒及有机质的关系研究[J]. 水土保持学报, 2003, 17(6): 153–155. [Li Renying, Yang Hao, Zhao Xiaoguang, et al. Study on relationship among 137Cs, soil particle and organic matter in loess plateau[J]. Journal of Soil Water Conservation, 2003, 17(6): 153–155.]

[17] 濮励杰, 韩书成, 金平华, 等. 红壤丘陵区土壤 ^{137}Cs 含量与土壤颗粒组成的关系研究——以江西省丰城市为例[J]. 水土保持通报, 2006, 26(4): 11–15. [Pu Lijie, Han Shucheng, Jin Pinghua, et al. Relationship between 137Cs content and composition of soil particles in red soil region: A case study of Fengcheng City, Jiangxi Province[J]. Journal of Soil Water Conservation, 2006, 26(4):

11-15.]

[18] 张婷婷, 曹月娥, 卢刚, 等. 准噶尔盆地东部土壤风蚀敏感性分级及其区划研究[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(5): 115-121. [Zhang Tingting, Cao Yue'e, Lu Gang, et al. Study on the sensitivity classification and regionalization of soil wind erosion in Zhundong Area[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2017, 35(5): 115-121.]

[19] 丁肇龙, 汪君, 胥鹏海, 等. 基于 ^{137}Cs 的新疆准东地区不同土地利用类型土壤风蚀特征研究[J]. 土壤, 2018, 50(2): 398-403. [Ding Zhaolong, Wang Jun, Xu Penghai, et al. Using ^{137}Cs technique to study soil wind erosion of different land use types in eastern Junggar Basin, Xinjiang[J]. Soils, 2018, 50(2): 398-403.]

[20] Wei Y, Wu X, Cai C. Splash erosion of clay-sand mixtures and its relationship with soil physical properties: The effects of particle size distribution on soil structure[J]. Catena, 2015, 13(5): 254-262.

[21] 刘君洋, 王明力, 杨建军, 等. 基于MCM模型和 ^{137}Cs 的准东地区土壤侵蚀分析[J]. 干旱区研究, 2020, 37(5): 1166-1173. [Liu Junyang, Wang Mingli, Yang Jianjun, et al. Study on soil erosion in the East Junggar region based on MCM model and ^{137}Cs[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(5): 1166-1173.]

[22] 濮励杰, 包浩生, 彭补拙, 等. ^{137}Cs 应用于我国西部风蚀地区土地退化的初步研究——以新疆库尔勒地区为例[J]. 土壤学报, 1998, 35(4) : 441-449. [Pu Lijie, Bao Haosheng, Peng Buzhuo, et al. A preliminary study on land degradation in Wind erosion area in western China: A case study of Kurla region in Xinjiang[J]. Acta Pedologica Sinic, 1998, 35(4): 441-449.]

[23] 石云峰, 谢添, 朱君, 等. 沉积物对137Cs的不可逆吸附行为[J]. 核电子学与探测技术, 2019, 39(1): 77-82. [Shi Yunfeng, Xie Tian, Zhu Jun, et al. Irreversible sorption behaviors of ^{137}Cs in sediments[J]. Nuclear Electronics & Detection Technology, 2019, 39(1): 77-82.]

[24] Orlovsky L, Orlovsky N, Durdyev A. Duststorms in turkmenistan[J]. Journal of Arid Environment, 2005, 60(1): 87-97.

[25] 胡云锋, 刘纪远, 庄大方, 等. 风蚀土壤剖面 ^{137}Cs 的分布及侵蚀速率的估算[J]. 科学通报, 2005, 50(9): 933-937. [Hu Yunfeng, Liu Jiyuan, Zhuang Dafang, et al. Distribution of ^{137}Cs in wind-eroded soil profile and estimation of erosion rate[J]. Chinese Science Bulletin, 2005, 50(9): 933-937.]

[26] 陈思宇, 魏欣, 韩玥, 等. ^{137}Cs 在土壤中淋溶迁移的模拟试验[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2016, 52(5): 635-638. [Chen Siyu, Wei Xin, Han Yue, et al. ^{137}Cs movements in soil[J]. Journal of Beijing Normal University (Natural Science), 2016, 52(5): 635-638.]

[27] 张婷婷. 准东地区土壤颗粒分形研究及其风蚀量估算[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2017. [Zhang Tingting. Study on Fractal of Soil Particles and Estimation on Wind Erosion Amount in Zhundong Area[D]. Urumqi: Xinjiang University, 2017.]

[28] 周颖. 新疆准东矿区土壤风蚀研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2016. [Zhou Ying. Research of Soil Wind Erosion in Zhundong of Xinjiang[D]. Urumqi: Xinjiang University, 2016.]

[29] 艾克拜尔·伊拉洪, 贾宏涛, 吐尔逊·吐尔洪, 等. ^{137}Cs 在灌耕灰棕漠土腐殖质各组分的分布[J]. 核农学报, 2011, 25(2): 325-330. [Aikebaier Yilahong, Jia Hongtao, Tuerxun Tuerhong, et al. Simulation study on ^{137}Cs distribution in the each component of irrigation farmyard-grey-brown desert soil humus[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2011, 25(2): 325-330.]

[30] 李勇, 耿肖臣, 于寒青, 等. 标准物质对HPGe γ谱仪测定环境放射性核素 ^{210}Pb 和 ^{137}Cs 的影响[J]. 核农学报, 2010, 24(6): 1249-1254. [Li Yong, Geng Xiaochen, Yu Hanqing, et al. Determination of environmental radionuclides ^{210}Pb and ^{137}Cs using HPGe γ-spectrometry as influenced by different standard reference materials[J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2010, 24(6): 1249-1254.]

Relationship between ^{137}Cs and soil particles in the main soil types in the eastern Jungar Basin

YANG Jianjun[1], WANG Heping[1], WANG Mingli[2], GUAN Tianze[1]
(1. College of Resources and Environment Science, Xinjiang University, Urumqi 830046, Xinjiang, China;
2. Geology Party No. 216, CNNC, Urumqi 830011, Xinjiang, China)

Abstract: We selected three main soil types in the the eastern Jungar Basin, and explored the relationship between ^{137}Cs and soil particles and natural geographic environment conditions to further understand the influence of soil particles on the distribution of ^{137}Cs. The three soil types were dominated by soil particles > 50 μm, accounting for 51.35%−90.22% of the three soil types. The median particle size (D50) of aeolian sandy soil was greater than that of gray-brown desert soil, which was greater than that of gray desert soil. The range of ^{137}Cs mass activity in gray-brown desert soil was 0.32−15.70 Bq·kg^{-1}, The distribution of ^{137}Cs specific activity in aeolian sandy soil is consistent with the particle content of soil >50 μm and the distribution of D50 profile, but the specific activity of ^{137}Cs in gray desert soil followed a different trend from that of soil particles of various sizes. Among aeolian sand and gray desert soils, those with the greatest impact on the ^{137}Cs mass activity were 2−5 μm soil particles, whereas ^{137}Cs in the gray-brown desert soil were most affected by 10−50 μm soil particles. The content of soil particles in different grain fractions of the soil profile has certain reference value for predicting the mass activity of ^{137}Cs in different profiles.

Keywords: ^{137}Cs; soil particle; soil type; the eastern Jungar Basin